

# Ticari Panelvan Araçlar İçin Havalandırma Performansının CAE Tabanlı Analizi ve Tasarım Optimizasyonu

*CAE-Based Analysis and Design Optimization of Ventilation Performance for Commercial Panel Vans*

Ümmet Ayyıldız<sup>1</sup>, Songül Kılınç<sup>2,\*</sup>, Kadir Güyen<sup>3</sup>

1,2,3 OTM Plastik Tasarım Merkezi

## Correspondence to:

Songül Kılınç –  
songul.kilinc@otmplastik.com.tr

## How to Cite:

Actual Citation as taken  
from website

RECEIVED: 24/04/2026

ACCEPTED: 01/05/2026

PUBLISHED: 30/06/2026

## ABSTRACT

In the commercial vehicle segment, particularly in panel vans used for school and personnel transportation, the interior volume of approximately 15 m<sup>3</sup> makes the design of interior trim components critical in terms of in-cabin comfort, interior climate control, and airflow rate. In this context, with the introduction of a new design, the development of lightweight and functional interior trim components has emerged as an important engineering challenge in order to both reduce vehicle weight and improve climate control performance. In this study, the design optimization of ventilation components integrated into the interior trim system of 15 m<sup>3</sup> panel vans and minibus are investigated. During the analysis process, computer-aided engineering (CAE) methods were employed, and the effects of different design parameters on airflow performance were numerically examined. In order to improve in-cabin air circulation, ventilation duct diameters and vent geometries were evaluated. Accordingly, duct diameters were defined as 50 mm and 70 mm, while vent geometries were modeled as circular and rectangular cross-sections. The results of the flow analyses indicated that the design with a 70 mm duct diameter and a circular vent with a diameter of 68 mm provided the best performance in terms of airflow distribution, pressure loss, and flow uniformity. The findings demonstrate the direct impact of geometric parameters in interior trim design on air quality and passenger comfort. The optimized design approach offers significant contributions in terms of more efficient ventilation, improved passenger comfort, and potential energy savings in service vehicles. It is expected that this study will guide future optimization efforts and interior trim design processes in commercial vehicles.

## KEYWORDS

Flow optimization, Cabin comfort, CAE (Computer-Aided Engineering), Airflow analysis, Interior trim design

**ÖZET**

Ticari araç segmentinde yer alan ve özellikle okul ile personel servis taşımacılığında kullanılan panelvan tipi araçlarda, iç hacmin yaklaşık 15 m<sup>3</sup> seviyesinde olması, araç içi konfor iç ortam iklimlendirme hava debisi açısından iç trim komponentlerinin tasarımını kritik hale getirmektedir. Bu kapsamda yeni dizayn ile beraber, hem araç ağırlığının azaltılması hem de iklimlendirme performansın artırılması amacıyla hafifletilmiş ve fonksiyonel iç trim parçalarının geliştirilmesi önemli bir mühendislik problemi olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, 15 m<sup>3</sup> panelvan ve minibüs araçlar için iç trim sistemine entegre edilen havalandırma bileşenlerinin tasarım optimizasyonu ele alınmıştır. Analiz sürecinde bilgisayar destekli mühendislik (CAE) yöntemleri kullanılmış ve farklı tasarım parametrelerinin hava akış performansına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Araç içi hava sirkülasyonunun iyileştirilmesi amacıyla, havalandırma boru çapları ve menfez geometrileri değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, boru çapı parametresi 50 mm ve 70 mm olarak belirlenmiş; menfez geometrileri ise dairesel ve dikdörtgen kesitli olacak şekilde modellenmiştir. Gerçekleştirilen akış analizleri sonucunda, 70 mm boru çapı ve 68 mm çapında dairesel menfez kullanılan tasarımın, hava akış dağılımı, basınç kaybı ve homojenlik açısından en iyi performansı sağladığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, iç trim tasarımında geometrik parametrelerin hava kalitesi ve yolcu konforu üzerindeki doğrudan etkisini ortaya koymaktadır. Optimize edilen bu tasarım yaklaşımı, servis araçlarında daha verimli havalandırma, artırılmış yolcu konforu ve potansiyel enerji tasarrufu sağlama açısından önemli katkılar sunmaktadır. Çalışmanın, ticari araç iç trim tasarım süreçlerine ve gelecekte yapılacak optimizasyon çalışmalarına rehberlik etmesi beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akış Optimizasyonu, Araç İçi Konfor, CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik), Hava akışı analizi, İç trim tasarımı



© 2026 The Author(s).  
Published by BAUDER  
Press.

This is an open access article published by Aintelia Science Notes (ASNJ), a journal of BAUDER (Bilimsel Araştırmalar ve Uygulamalar Derneği / BAUDER Press), under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (CC BY-NC 4.0 Deed) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## 1. GİRİŞ

Ticari araç sektöründe, özellikle okul ve personel taşımacılığında kullanılan panelvan tipi araçlarda yolcu konforu ve iç ortam hava kalitesi, tasarım süreçlerinin temel belirleyicilerinden biri haline gelmiştir. Araç iç hacminin yaklaşık 15 m<sup>3</sup> seviyesinde olması, iklimlendirme sistemlerinin etkinliğini doğrudan etkileyerek homojen hava dağılımı ve yeterli hava sirkülasyonunun sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Araç kabinlerinin yeterli havalandırılmaması durumunda karbondioksit (CO<sub>2</sub>) konsantrasyonunun hızla artabildiği ve bunun sürücü dikkatinde azalma ve reaksiyon süresinde gecikme gibi güvenlik risklerine yol açabileceği açıkça ortaya konmuştur [1]. Araç içerisinde kullanılan koltuk sayısı göz önüne alındığında, bu durum, yalnızca termal konfor açısından değil, aynı zamanda yolcu sağlığı ve güvenliği açısından da kritik bir mühendislik problemi olarak değerlendirilmektedir [2,3]. Yetersiz havalandırma durumunda CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun hızla artarak sürücü dikkatini ve yolcu konforunu olumsuz etkilediği gösterilmiştir [4].

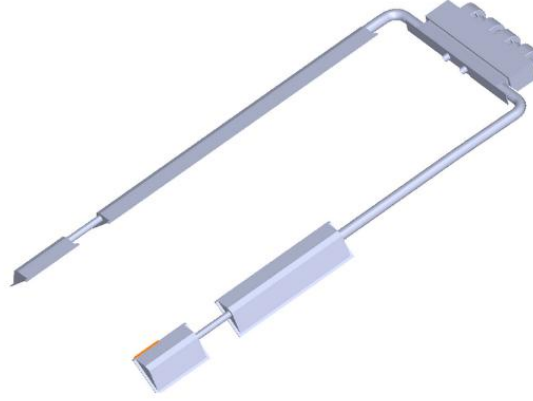
Literatürde, araç içi hava kalitesinin ve termal konforun; hava akış dağılımı, hız profilleri ve sıcaklık homojenliği gibi parametrelerle doğrudan ilişkili olduğu gibi araç içi malzemelerden kaynaklanan emisyonlar ve dış ortamdan gelen kirleticiler de kabin hava kalitesini doğrudan etkilemektedir [5]. Özellikle kapalı alanlarda yetersiz hava sirkülasyonu, CO<sub>2</sub> birikimi ve kirletici yoğunluğunun artmasına neden olmakta, bu durum da yolcu konforunu ve bilişsel performansı olumsuz etkileyebilmektedir [6]. Bu bağlamda, havalandırma sistemlerinin tasarımında menfez yerleşimi, kanal geometrisi ve kesit özellikleri kritik rol oynamaktadır.

Son yıllarda, bilgisayar destekli mühendislik (CAE) ve özellikle Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yöntemleri, otomotiv iç ortam hava akışının analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir CFD çalışmada, özellikle resirkülasyon modunda çalışılan sistemlerde CO<sub>2</sub> seviyesinin hızlı şekilde yükseldiği, buna karşılık taze hava modunun ise dış ortamdan partikül girişini artırdığı gösterilmiştir [7]. Diğer bir çalışmada, menfez sayısı, konumu ve geometrisinin hava dağılımını doğrudan etkilediği ve bu parametrelerin tasarım sürecinde kritik rol oynadığı da deneysel ve sayısal çalışmalarla ortaya konmuştur [8]. Araç HVAC sistemlerinin tasarımında kanal geometrisi, menfez yerleşimi ve hava debisinin hem yolcu konforu hem de enerji tüketimi üzerinde belirleyici olduğu vurgulanmaktadır. CFD tabanlı analizlerin kullanıldığı çalışmalar, havalandırma sistemlerinin optimize edilmesiyle kabin içerisindeki hava değişim oranının artırılabilirliğini ve böylece daha güvenli ve konforlu bir iç ortam sağlanabildiğini göstermektedir [9].

Bu doğrultuda, panelvan tipi ticari araçlarda iç trim sistemine entegre edilen havalandırma bileşenlerinin tasarımı, yalnızca mekanik bir gereklilik değil, aynı zamanda çok parametrelili bir optimizasyon problemi olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada, farklı geometrik tasarım parametrelerinin hava akış performansı üzerindeki etkileri literatür bulguları ışığında incelenerek, optimum tasarım yaklaşımının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bilgisayar destekli analiz yöntemi, nümerik bir çözümleme metodu olup ideal durumlar dahilinde işlem yapmaktadır. Bu sebeple sistemlerin kıyaslanması açısından önemli bir yere sahiptir.



Şekil 1: Klima menfez sistemi

Klima menfez sistemi üzerinden (Şekil 1) sağ ve sol menfez hatlarından çıkan açıklıklardan çıkan hava hızları 3 farklı model için analiz edilecektir. Tablo 1'de belirlenen modeller için analizler gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1:** Analiz edilecek menfez sistemi modelleri

| Model 1                                          | Model 2                                   | Model 3                                   |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Boru Çapı: 50 mm</b>                          | Boru Çapı: 70 mm                          | Boru Çapı: 70 mm                          |
| <b>Menfez: Dikdörtgen</b>                        | Menfez: Dikdörtgen                        | Menfez: Daire (68 mm)                     |
| <b>Klima İç Ayrım (Hava ayırma perdesi): Yok</b> | Klima İç Ayrım (Hava ayırma perdesi): Var | Klima İç Ayrım (Hava ayırma perdesi): Var |

Sayısal analizlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla, çalışma kapsamında oluşturulan üç boyutlu model üzerinde detaylı bir ağ (mesh) yapısı oluşturulmuştur. Ağ oluşturma sürecinde, çözüm hassasiyeti ile hesaplama maliyeti arasında optimum dengeyi sağlamak hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, model geometrisinin karmaşıklığı, akış bölgelerindeki hız gradyanları ve sınır tabaka etkileri dikkate alınarak hibrit bir ağ yapısı tercih edilmiştir.

Ağ modeli toplam 1.218.433 elemandan oluşmakta olup, çözüm doğruluğunu artırmak amacıyla kritik bölgelerde yerel ağ inceltme (local refinement) uygulanmıştır. Özellikle havalandırma kanalları, menfez çıkışları ve akışın yön değiştirdiği bölgelerde daha küçük eleman boyutları kullanılarak akış karakteristiğinin daha hassas yakalanması sağlanmıştır. Bu kapsamda, ağ yapısında maksimum eleman boyutu 10 mm, minimum eleman boyutu ise 0,1 mm olarak tanımlanmıştır.

Minimum eleman boyutunun, özellikle sınır tabaka bölgelerinde ve yüksek hız gradyanının bulunduğu alanlarda kullanılmasıyla, viskoz etkilerin ve türbülans yapısının daha doğru modellenmesi amaçlanmıştır. Buna karşılık, akışın daha homojen olduğu hacimsel bölgelerde daha büyük elemanlar kullanılarak toplam çözüm süresi optimize edilmiştir.

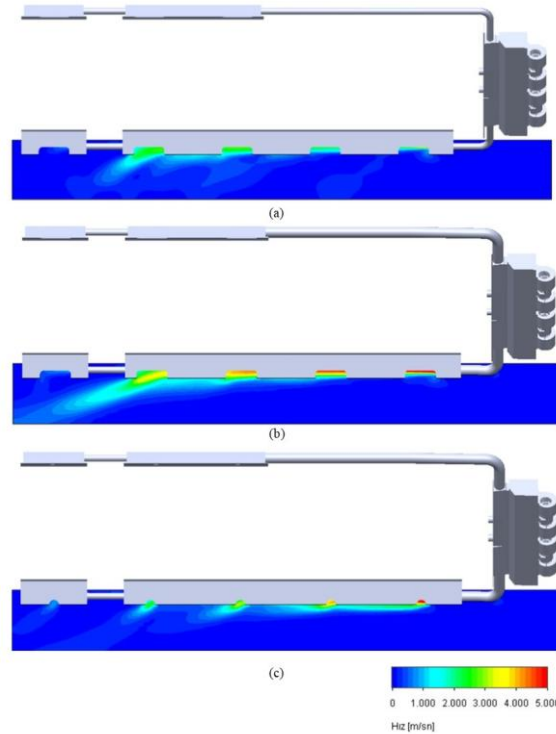
**Tablo 2:** Ağ modelinin oluşturulması

| Parametre                     | Değer     |
|-------------------------------|-----------|
| <b>Toplam Eleman</b>          | 1.218.433 |
| <b>Maksimum Eleman Boyutu</b> | 10 mm     |
| <b>Minimum Eleman Boyutu</b>  | 0,1 mm    |

Sınır şartları olarak, akışkan ortam olarak hava tanımlanmış olup, sistemde hava hareketi blower fan aracılığıyla sağlanmıştır. Blower fan devri 3000 rpm olarak belirlenmiş ve bu değer analizlerde sabit sınır şartı olarak uygulanmıştır. Çalışma, araç kabini içerisindeki hava akış karakteristiğini incelemek amacıyla dış akış (external flow) analizi kapsamında ele alınmıştır. Analizlerde zamana bağlı değişimlerin incelenmesi için çözüm yöntemi geçici rejim olarak seçilmiştir. Türbülans etkilerinin modellenmesinde ise mühendislik uygulamalarında yaygın olarak tercih edilen k- $\epsilon$  (k-epsilon) türbülans modeli kullanılmıştır [10]. Zamana bağlı çözüm sürecinde toplam analiz süresi 5 saniye olarak tanımlanmış olup, çözüm hassasiyetini artırmak amacıyla zaman adımı 0,01 saniye olarak belirlenmiştir. Her bir zaman adımı için 10 iterasyon gerçekleştirilmiş ve bu doğrultuda toplam iterasyon sayısı 5000 olarak hesaplanmıştır. Belirlenen bu sınır şartları ve çözüm parametreleri ile, sistemdeki hava akışının zamana bağlı davranışı, hız dağılımı ve akış homojenliği güvenilir bir şekilde analiz edilmiştir.

### 3. SONUÇLAR

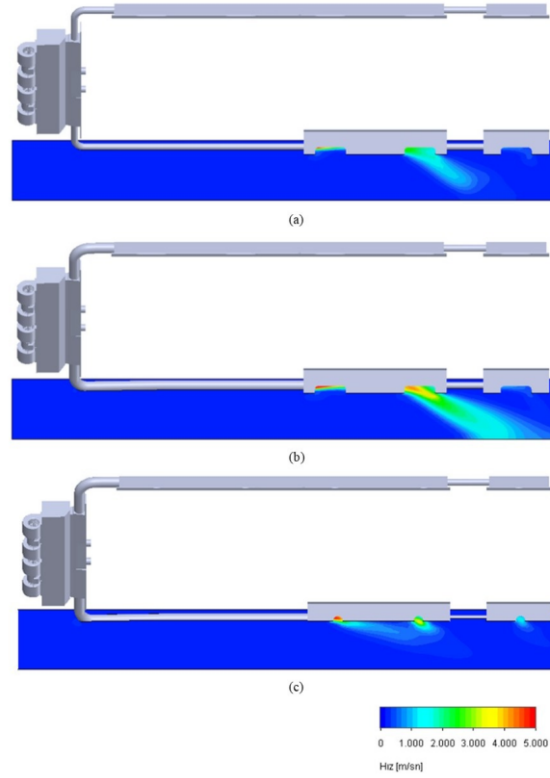
Sağ, sol ve orta menfez hattındaki açıklıklardan çıkan hava hızları Model 1, Model 2 ve Model 3 olarak incelenmiştir. Model 1'de, menfez geometrisi dikdörtgen ve çapı 50 mm olan hortum kullanılarak tasarlanmıştır ve klima çıkış bölümünde hava ayırma perdesi bulunmamaktadır. Model 2'de, menfez geometrisi dikdörtgen ve çapı 70 mm olan hortum kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Model 3'de menfez geometrisi daire ve çapı 70 mm olan hortum olacak şekilde hava çıkış menfezlerinin çapı 68 mm olarak tasarlanmıştır. Model 2 ve Model 3 için klima çıkış bölümünde hava ayırma perdesi bulunmaktadır. Şekil 2'de bulunan sağ menfez hattı analiz sonuçlarına bakıldığında, Model 2 ve Model 3 için klimaya yakın olan hava çıkış noktalarında akış hızlarının yaklaşık 4500 m/s ulaştığı ve Model 2'de dengesiz bir dağılım görünürken, Model 3'te bu hava çıkış noktalarındaki dağılımın daha dengeli olduğu görülmektedir.



Şekil 2: Sağ menfez hattındaki (a) Menfez çapı 50mm, dikdörtgen, (b) Menfez çapı 70mm, dikdörtgen, (c) Menfez çapı 70mm, daire (68mm) menfez açıklıklarından çıkan hava hızları analizi

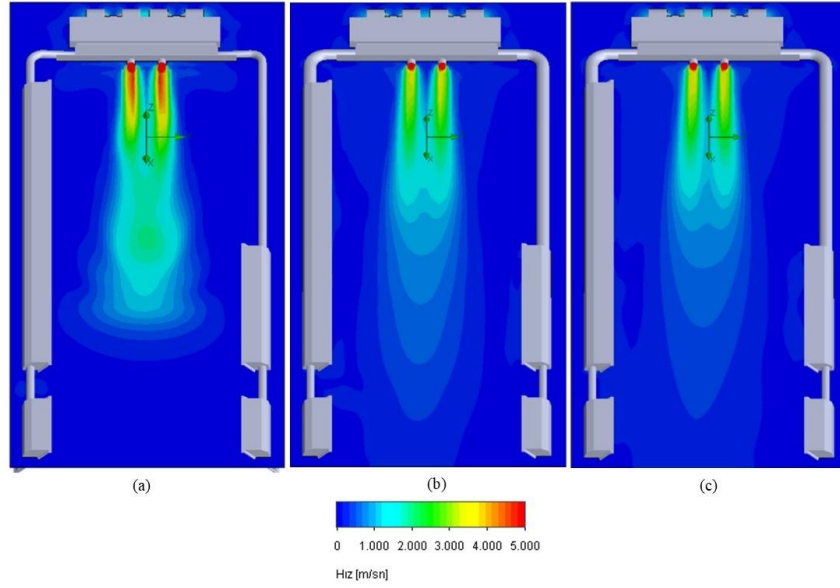
Sol menfez hattı analiz sonuçlarına göre, Şekil 3-a ve Şekil 3-b'ye bakıldığında boru çapının artırılmasıyla birlikte hava jetinin daha yüksek hız ve momentumla kabin içerisine iletildiği

görülmektedir. Ancak, menfez boyutlarının büyük olması nedeniyle akış belirli bir yönde yoğunlaşarak ilerlemekte ve jet etkisi oluşturmakta, bu da lokal yüksek hız bölgelerine karşılık kabin genelinde dengesiz bir dağılıma neden olmaktadır. Menfezlerin dairesel formda ve uygun çapta (68 mm) tasarlanmasıyla birlikte (Şekil 3-c) hava akışının daha kontrollü ve dengeli bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Yüksek hız bölgelerinin lokal olarak sınırlı kaldığı, akışın daha geniş bir alana yayıldığı ve hız gradyentlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, kabin içerisinde daha homojen bir hava sirkülasyonu sağlandığını göstermektedir.



Şekil 3: Sol menfez hattındaki (a) Menfez çapı 50mm, dikdörtgen, (b) Menfez çapı 70mm, dikdörtgen, (c) Menfez çapı 70mm, daire (68mm) menfez açıklıklarından çıkan hava hızları analizi

Klima orta menfez hattında gerçekleştirilen analizde 3 model için de hava çıkış noktalarında, akış hızlarının en hızlı olan bölgeler olduğu Model 1'de hız seviyelerinin yaklaşık 4750 m/s hızlarında, akış boyunca ve keskin bir şekilde devam ettiği görülmektedir. Model 3'te diğerlerine göre daha homojen hız akışı gözlenmektedir.



Şekil 4: Orta menfez hattındaki (a) Menfez çapı 50mm, dikdörtgen, (b) Menfez çapı 70mm, dikdörtgen, (c) Menfez çapı 70mm, daire (68mm) menfez açıklıklarından çıkan hava hızları analizi

#### 4. TARTIŞMA

Gerçekleştirilen sayısal analizler sonucunda, farklı tasarım parametrelerinin araç içi hava dağılımı üzerinde belirleyici etkileri olduğu ortaya konmuştur. Üç farklı tasarım senaryosunun (Model 1, Model 2 ve Model 3) karşılaştırılmasıyla, havalandırma performansı açısından en uygun konfigürasyon belirlenmiştir.

1. modelde, kullanılan boru çapının yetersiz olduğu ve buna karşılık menfez boyutlarının gereğinden büyük tasarlandığı tespit edilmiştir. Bu durum, hava akışının menfezler arasında dengesiz dağılmasına ve bazı bölgelerde düşük hız değerlerinin oluşmasına neden olmuştur. 2. modelde ise boru çapı artırılarak akış kapasitesi iyileştirilmiş; ancak menfez boyutlarının hâlâ büyük olması nedeniyle hava hız dağılımında istenilen homojenlik sağlanamamıştır.

3. model tasarımında, boru çapının artırılması ile birlikte menfez geometrisi dairesel formda ve 68 mm çapında olacak şekilde optimize edilmiştir. Bu konfigürasyon sonucunda, menfezlerden çıkan hava hızlarının daha dengeli ve homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, akışın sistem genelinde daha kararlı ilerlediği ve hız farklılıklarının minimize edildiği belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, havalandırma sistemlerinde boru çapı ve menfez geometrisinin birlikte optimize edilmesinin, hava dağılım performansı üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, menfez geometrisinin dairesel olması, önceki konfigürasyonlara kıyasla daha etkin bir hava sirkülasyonu sağlayarak araç içi konforun artırılması açısından en uygun çözüm olarak değerlendirilmiştir.

#### STATEMENTS AND DECLARATIONS

##### Supplementary Material

All supplementary or supporting information provided by the authors will be published online alongside the main article. When such material is available, it will also be indicated here along with a link to the pdf for downloading.

## Acknowledgements

Projede bizlerden desteklerini esirgemeyen OTM Plastik Otomotiv Yan Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. yöneticilerimiz ve çalışma arkadaşlarımıza, ortak çalışma imkânı bulduğumuz Yılkar Klima yetkililerine teşekkürlerimizi borç biliriz.

## Author Contributions

Provide a detailed account of each author's contributions to the research and writing of the paper, following the CRediT (Contributor Roles Taxonomy) format. <https://credit.niso.org/>

## Conflicts of Interest

Disclose any actual or potential conflicts of interest that could influence the research. If there are no conflicts, state this explicitly.

## Data, Code & Protocol Availability

Provide information on the availability of data, code, and protocols. Specify where these materials can be accessed, such as public repositories or upon request. Assigned DOI or other identification numbers, links and any conditions that may be present in order to obtain access should be included. This information should also be included in the references and cited in the text.

## Funding Received

List all sources of funding or financial support received for the research. Include grant numbers and the names of funding organizations.

## ORCID IDs

Ümmet Ayyıldız <https://orcid.org/0000-0001-9340-0115>

Songül Kılınç <https://orcid.org/0000-0003-1035-477X>

Kadir Güyen <https://orcid.org/0009-0005-2674-6200>

## REFERENCES

1. T. B. Chang, J. J. Sheu, J. W. Huang, Y. S. Lin, and C. C. Chang, "Development of a CFD model for simulating vehicle cabin indoor air quality," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 62, pp. 433–440, 2018.
2. P. O. Fanger, *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press, 1970.
3. M. Vaughn, "ASHRAE research report: 2020–2021," *ASHRAE J.*, vol. 63, no. 10, pp. 73–87, 2021.
4. T. B. Chang, J. J. Sheu, J. W. Huang, Y. S. Lin, and C. C. Chang, "Development of a CFD model for simulating vehicle cabin indoor air quality," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 62, pp. 433–440, 2018.
5. X. B. Xu, X. K. Chen, and J. Y. Xiong, "Air quality inside motor vehicles' cabins: A review," 2018.
6. O. A. Seppänen and W. Fisk, "Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or health," *HVAC&R Res.*, vol. 12, no. 4, pp. 957–973, 2006.
7. T. B. Chang, Y. S. Lin, and Y. T. Hsu, "CFD simulations of effects of recirculation mode and fresh air mode on vehicle cabin indoor air quality," *Atmos. Environ.*, vol. 293, art. 119473, 2023.
8. S. Pawar, U. R. Gade, A. Dixit, S. B. Tadigadapa, and S. Jaybhay, "Evaluation of cabin comfort in air conditioned buses using CFD," in *Proc. SAE 2014 World Congress & Exhibition*, Apr. 2014.
9. B. Pirouz, D. Mazzeo, S. A. Palermo, S. N. Naghib, M. Turco, and P. Piro, "CFD investigation of vehicle's ventilation systems and analysis of ACH in typical airplanes, cars, and buses," *Sustainability*, vol. 13, no. 12, art. 6799, 2021.
10. W. P. Jones and B. E. Launder, "The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 15, no. 2, pp. 301–314, 1972.